Quarterly Journal of Linguistics & Khorasan Dialects, Vol. 15. No.3 /Serial Number.32 (Fall 2023)

https://doi.org/10.22067/jlkd.2023.83396.1179

Thalamus and Bilingualism: Evidence from fMRI

Simin Meykadeh[1]

PhD in Linguistics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (Corresponding author)

Werner Sommer[2]

Professor in Psychology, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Germany

Seyed Amir Hossein Batouli[3]

Assistant Professor, Department of Neuroscience and Addiction Studies,
Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: July 13, 2023 **Accepted: Nov 3, 2023**

Abstract

Bilingualism is associated with structural adaptations of subcortical regions taking part in controlling multiple languages. The thalamus is a paired gray matter structure located near the center of the brain, regulating the information transmission to cortical regions. In a recent fMRI study, the sensitivity of the thalamus to grammatical and ungrammatical stimuli has been shown at whole-brain level in the first language (L1) of bilinguals. This study explored the activation patterns of bilateral thalamus in both L1 and L2 using a ROI-based approach. To do so, the percentage of signal change for grammatical and ungrammatical stimuli in L1 and L2 was extracted as the intensity measure per participant. Thirty-six Turkish-Persian bilinguals (21 women) who had acquired their L2 at the age of 7 were selected. Based on the Bilingual Dominance Scale, there was no significant difference between the proficiency level of participants in L1 (Turkish) and L2 (Persian). Participants carried out an auditory grammaticality judgment task in an alternating language switching paradigm while fMRI images were acquired. ROI-based results confirmed the grammaticality effect only in L1 and the left thalamus. Considering that L1 was the dominant language in this study and

1. Email: a.meykadeh@modares.ac.ir
2. Email: werner.sommer@cms.hu-berlin.de
3. Email: batouli@sina.tums.ac.ir

gave rise to larger reversed language dominance effects, it was suggested that the engagement of the thalamus in L1 is not associated with syntactic processing but instead may exert an overall *monitoring* and control function for language-specific cortical activities.
Keywords: Thalamus, Bilingualism, L1, Switching Costs, Left Hemisphere, fMRI

https://doi.org/10.22067/jlkd.2023.83396.1179

مجلهٔ زبانشناسی و گویش‌های خراسان، شمارهٔ ۳۲، پاییز ۱۴۰۲، مقالهٔ پژوهشی

تالاموس و دوزبانگی: شواهدی از fMRI

سیمین میکده، دکتری زبانشناسی، گروه زبانشناسی، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسندهٔ مسئول)[1]

ورنر زومر، استاد، گروه روانشناسی، دانشگاه هومبولت برلین، برلین، آلمان[2]

سیدامیرحسین بتولی، استادیار، گروه علوم اعصاب، دانشکدهٔ فناوری‌های نوین، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران[3]

صص ۲۹-۵۱

چکیده

دوزبانگی با انطباق‌های ساختاری نواحی زیرقشری دخیل در کنترل چندین زبان مرتبط است (کرنار، ترفرز-دالر و پلیاستیکاس، ۲۰۲۳). تالاموس یک ساختار زوجی مادهٔ خاکستری است که در نزدیکی مرکز مغز قرار دارد و انتقال اطلاعات به نواحی قشری را تنظیم می‌کند. اخیراً در یک مطالعهٔ fMRI، حساسیت تالاموس به محرک‌های دستوری و نادستوری زبان اول در سطح کل-مغز در افراد دوزبانه شناسایی شد (میکده و همکاران، ۲۰۲۱ الف). مطالعهٔ حاضر درصدد است با اتخاذ رویکرد ناحیهٔ موردنظر، الگوهای فعالیت تالاموس دوجانبه را برای هر دو زبان اول و دوم بررسی کند. بدین‌منظور، درصد تغییر سیگنالِ محرک‌های دستوری و نادستوری در زبان اول و دوم به‌عنوان معیار «شدت» برای هر شرکت‌کننده استخراج شد. تعداد ۳۶ نفر دوزبانهٔ ترکی-فارسی (۲۱ زن) که زبان دومشان را به‌طور رسمی در ۷ سالگی آموخته بودند، انتخاب شدند. بر مبنای شاخص تسلط دوزبانه، هیچ تفاوت معناداری بین سطوح بالای بسندگی شرکت‌کنندگان در زبان اول (ترکی) و دوم (فارسی) وجود نداشت. شرکت‌کنندگان یک آزمون شنیداری قضاوت دستوری‌بودگی با پارادایم زبان‌گردانی جایگزین را در حین اخذ تصاویر fMRI اجرا کردند. نتایج مبتنی بر ناحیهٔ موردنظر، اثر دستوری‌بودگی را در زبان اول و تالاموس چپ تأیید کرد. با توجه به اینکه در پژوهش حاضر زبان اول به‌عنوان زبان غالب عمل کرد و اثرات معکوس بزرگ‌تری را ایجاد نمود، به نظر می‌رسد دخالت تالاموس در زبان اول به پردازش نحوی مربوط نمی‌شود، بلکه ممکن است تالاموس نقش کنترلی و نظارتی را برای فعالیت‌های زبان-ویژهٔ قشر مغز ایفا می‌کند.

کلیدواژه‌ها: تالاموس، دوزبانگی، زبان اول، بار زبان‌گردانی، fMRI.

تاریخ دریافت : ۲۲ /۱۴۰۲/۴ - تاریخ پذیرش : ۱۴۰۲/۹/۱۲

پست الکترونیکی:

1. a.meykadeh@modares.ac.ir
2. werner.sommer@cms.hu-berlin.de
3. batouli@sina.tums.ac.ir

۱. مقدمه

تالاموس، ساختاری متقارن است که در عمق قشر مغز و هستهٔ دیانسفالون[1] قرار دارد و به‌طورکلی نقش باز پخش اطلاعات بین نواحی مختلف قشری و زیرقشری مغز را به عهده دارد. تقریباً پنجاه سال پیش بود که سانیدس[2] (۱۹۷۰) ادعا کرد مسیر عملیاتی تالاموکورتیکال[3]، پیش‌شرط ساختاری برای کارکردهای رفتاری پیچیده است. سال‌ها بعد، این دیدگاه با مشاهدات بالینی در بیمارانی با ضایعات تالامیک[4] که منجر به اختلالات شناختی شده بودند، تأیید شد. علاوه بر این، شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد ضایعات تالامیک می‌تواند بر طیف گسترده‌ای از رفتارها ازجمله رفتارهای ادراکی، توجهی، حافظه‌ای، اجرایی و به‌ویژه ظرفیت‌های زبانی تأثیر بگذارد (بوگوسلاوسکی[5] و همکاران، ۱۹۸۸؛ ون‌در ورف[6] و همکاران، ۲۰۰۰؛ فیم[7] و همکاران، ۲۰۰۱؛ لیبرمن[8] و همکاران، ۲۰۱۳؛ کلوسترمان، کوگل و ایلن[9]، ۲۰۱۳). در بافت دوزبانگی نیز شواهد قابل‌توجهی وجود دارد که نشان می‌دهد تجارب دوزبانگی موجب انطباق ساختاری نواحی مغزی زیربنای زبان‌گردانی[10]، کنترل شناختی و گفتاری و انتخاب زبان می‌شود (مشلی[11] و همکاران، ۲۰۰۴؛ برگالتا[12] و همکاران، ۲۰۱۶؛ فدلی[13] و همکاران، ۲۰۲۱). مشخصاً، این تغییرات نواحی زیرقشری مانند هستهٔ کودیت[14]، گلوبوس پالیدوس[15]، هستهٔ اکومبنس[16]، پوتامن[17] و تالاموس را متأثر می‌کند که نواحی کلیدی برای کنترل زبان در دوزبانه‌های باتجربه محسوب می‌شوند (هوسودا[18] و همکاران، ۲۰۱۳؛ برکن، گرادو

1. Diencephalon
2. Sanides
3. Thalamo-cortical
4. thalamic
5. Bogousslavsky
6. Van Der Werf
7. Fimm
8. Liebermann
9. Klostermann, Krugel and Ehlen
10. Language-switching
11. Mechelli
12. Burgaleta
13. Fedeli
14. caudate nucleus
15. globus pallidus
16. nucleus accumbens
17. putamen
18. Hosoda

و کلاین[1]، ۲۰۱۷؛ پلیاستیکاس[2] و همکاران، ۲۰۱۷؛ دلوکا[3] و همکاران، ۲۰۱۹؛ گَلو[4] و همکاران، ۲۰۲۱). اخیراً، کرنار، ترفرز-دالر و پلیاستیکاس[5] (۲۰۲۳) نشان دادند که حجم نواحی تالاموس و پوتامن با میزان تجربهٔ دوزبانه‌ها رابطهٔ مثبت دارد. به عبارتی دقیق‌تر، هر چه تجربهٔ فرد دوزبانه بیشتر باشد، حجم نواحی تالاموس و پوتامن بزرگ‌تر خواهد بود. با توجه به اهمیت نقش ناحیهٔ تالاموس در کنترل زبان در افراد دوزبانه، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی[6] (fMRI) بر روی این ناحیهٔ زیرقشری متمرکز خواهد بود. روش تصویربرداری fMRI، غیرتهاجمی[7] است و برای اندازه‌گیری و مکان‌یابی[8] کارکردهای خاص مغز انسان بدون استفاده از اشعه عمل می‌کند. دقت مکانی ۲-۳ میلی‌متری fMRI (پروس و همکاران، ۲۰۱۸)، آن را به ابزاری قدرتمند برای تصویربرداری از مغز مبدل کرده است.

بر اساس دانش ما، مطالعهٔ وارتنبرگر[9] و همکارانش (۲۰۰۳) تنها اثری است که تا کنون به موضوع پردازش دستوری در افراد دوزبانه پرداخته است. آن‌ها با به‌کارگیری سه گروه از دوزبانه‌های ایتالیایی-آلمانی با (۱) بسندگی بالا در زبان دوم و سن یادگیری خیلی زودهنگام[10] (۲) بسندگی بالا در زبان دوم و سن یادگیری دیرهنگام[11] و (۳) بسندگی پایین در زبان دوم و سن یادگیری دیرهنگام[12] به بررسی تأثیر سن یادگیری و بسندگی زبانی با استفاده از یک تکلیف قضاوت دستوری‌بودگی دیداری[13] که شامل دستکاری نشانگرهای صرفی بود، پرداختند. دوزبانه‌های زودهنگام از بدو تولد در معرض زبان دوم بودند؛ درحالی‌که میانگین سنی دوزبانه‌های دیرهنگام با بسندگی بالا و پایین به ترتیب ۱۸/۹ و ۲۰/۴ بود. در گروه دوزبانه‌های زودهنگام با بسندگی بالا در زبان دوم، هیچ تفاوتی در سطح فعالیت مغزی بین دو زبان اول و دوم مشاهده نشد. درحالی‌که در هر دو گروه دوزبانه‌های دیرهنگام، فعالیت گسترده‌تر ناحیهٔ بروکا و ساختارهای زیرقشری (ازجمله ناحیهٔ تالاموس) در زبان دوم مشاهده شد. این نتایج مبین این است که بنیان نورونی

1. Berken, Gracco, Klein
2. Pliatsikas
3. DeLuca
4. Gallo
5. Korenar, Trefers-Daller & Pliatsikas
6. Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)
7. non-invasive
8. localization
9. Wartenburger
10. early acquisition of L2 and high proficiency in L2
11. late acquisition of L2 and high proficiency in L2
12. late acquisition of L2 and low proficiency in L2
13. Vitual grammaticality judgment task

پردازش صرفی-نحوی حتی در دوزبانه‌های دیرهنگام با بسندگی زبانی بالا در زبان دوم (در حد سخنگویان بومی)، به سن یادگیری زبان دوم حساس است. فعالیت مغزی گسترده‌تر در دوزبانه‌های دیرهنگام حاکی از دشواری بیشترِ پردازش زبان دوم در این افراد است که متأثر از یادگیری زبان دوم بعد از سن بلوغ[1] است. نظر به اینکه تا کنون هیچ مطالعه‌ای پردازش همزمان نحوی زبان اول و دوم را در یک گروه واحد از افراد دوزبانه موردبررسی قرار نداده است، پژوهش حاضر درصدد است الگوی فعالیت ناحیهٔ تالاموس را در دوزبانه‌های متوازن[2] بیازماید.

در بافت دوزبانگی، کنترل شناختی[3] یا کارکردهای اجرایی[4]، یک عامل اساسی در توانش زبان به شمار می‌رود (لرمان و اُبلر[5]، ۲۰۱۷). دوزبانگی، منابع حافظهٔ فعال را برای مدیریت زبان‌هایی که به‌طور پیوسته برای گزینش رقابت می‌کنند، به کار می‌گیرد (آنتون[6] و همکاران، ۲۰۱۹). بر اساس مدل کنترل بازداری گرین[7] (۱۹۹۸) یک سازوکار بازدارنده در رفع تعارض بین دو زبانی که به‌طور همزمان فعال‌اند دخالت دارد تا با مهار زبان غیرهدف[8]، تولید زبان هدف[9] را تسهیل کند. استدلال شده است که در دوزبانه‌های متأخر، زبان مادری به‌عنوان زبان غالب[10] عمل می‌کند و هنگامی‌که دوزبانه‌ها در تلاش‌اند تا زبان اولشان را بعد از فعالیت زبان دوم مجدداً بازیابی کنند، دسترسی به بازنمائی‌های مهارشده در زبان اول زمان‌بر خواهد بود (رومان و گومز-گومز[11]، ۲۰۲۲). در همین راستا، دکلرک، کلاین‌مان و گلن[12] (۲۰۱۶)، مطرح کردند که دوزبانه‌ها گاهی اوقات اثراتِ تسلطِ زبانِ معکوس را بروز می‌دهند. این پژوهشگران با بررسی بیش از ۴۰۰ فرد دوزبانه دریافتند که دوزبانه‌های متوازن‌تر (در مقایسه با دوزبانه‌های کمتر متوازن) اثرات تسلط زبان معکوس بزرگ‌تری را در بلوک‌های زبان مختلط[13] ایجاد می‌کنند. دلیل این امر این می‌تواند باشد که وقتی دوزبانه‌های متوازن تلاش می‌کنند تا به یک اندازه به هر دو زبان دسترسی داشته باشند، ممکن است دچار خطای بیشتری شوند. در پژوهش حاضر، سخنگویان دوزبانه از تسلط بالایی در هر دو زبان ترکی (زبان اول) و

---

1. Puberty
2. balanced bilingual
3. Cognitive control
4. Executive functions (EFs)
5. Lerman & Obler
6. Antón
7. Green
8. Non-target language
9. Target language
10. Matrix language
11. Román and Gómez-Gómez
12. Declerck, Kleinman & Gollan
13. mixed-language blocks

فارسی (زبان دوم) برخوردار بودند و به‌طور منظم از هر دو زبان استفاده می‌کردند. آن‌ها غالباً در خانه با زبان ترکی مواجه شده بودند و از حدود ۷ سالگی که وارد دبستان شدند شروع به یادگیری زبان فارسی کردند. به‌طورخاص، مطالعهٔ این جمعیت بدین دلیل حائز اهمیت است که اگرچه آن‌ها یادگیری زبان دوم را نسبتاً دیر شروع کردند، اما در ادامه به سطح بسیار بالایی از بسندگی رسیدند. زبان‌های ترکی و فارسی مشخصه‌های دستوری مشترکی دارند که عامل مهمی در کنترل پردازش زبان دوم محسوب می‌شود. در حالت بی‌نشان هر دو دارای ترتیبِ واژه زبان فاعل-مفعول-فعل[1] هستند و از ویژگی‌های نحوی خاصی مانند مطابقهٔ فعلی[2] پیروی می‌کنند. بر اساس توصیف نحو مشترک[3] (هارتسوکر[4] و همکاران، ۲۰۰۴)، مادامی‌که بازنمایی‌های نحوی بین زبان‌ها مشابه باشند، دوزبانه‌ها بازنمایی‌ها را بین زبان‌ها به اشتراک می‌گذارند؛ اینک، نگارندگان در تلاشند تا در بازتحلیل[6] حاضر، عملکرد ناحیة مغزی تالاموس را که در دوزبانه‌های متوازن ترکی-فارسی مطالعهٔ میکده و همکاران (۲۰۲۱الف) شناسایی شده بود، مورد بررسی قرار دهند. بنابراین، با هدف بررسی نقش تالاموس در پردازش زبان اول و دوم با روش fMRI در افراد دوزبانه‌ای که در ۷ سالگی زبان دوم را به طور رسمی آموخته بودند، به دو پرسش زیر پاسخ داده خواهد شد:

(۱) تا چه میزانی ناحیهٔ تالاموس در پردازش جملات دوزبانه‌ها دخالت دارد؟

(۲) چه تفاوتی در کارکرد تالاموس چپ و راست برای پردازش همزمان زبان اول و دوم وجود دارد؟

۲. روش پژوهش

در مطالعهٔ حاضر، داده‌های fMRI که توسط میکده و همکارانش (۲۰۲۱الف) گزارش شده بود، بازتحلیل شد. در پژوهش اصلی فعالیت ناحیة تالاموس در افراد دوزبانه شناسایی شد. در مطالعهٔ فعلی، نگارندگان درصددند تا الگوی فعالیت این ناحیهٔ مغزی را برای هر دو زبان اول و دوم بررسی کنند.

۲-۱. شرکت‌کنندگان

بر اساس یک فراخوان، دانشجویان واجد شرایط مقطع دکتری دعوت به همکاری در پژوهش کاربردی-بنیادی حاضر شدند. از بین داوطلبان، ۳۶ دانشجوی ترک‌زبان (۲۱ زن و ۱۵ مرد به ترتیب با میانگین سنی و انحراف معیار

1. Subject-object-verb (SOV)
2. Verbal agreement
3. Shared syntax account
4. Hartsuiker
6. Reanalysis

۲۷/۷۱±۳/۵ و ۲۶/۸۷±۲/۹۷، در محدودهٔ سنی ۲۲-۳۴ سال) انتخاب شدند[1]. همهٔ افراد سالم و طبق گزارش فردی شنوایی طبیعی داشتند. ملاک ورود به مطالعه شامل داشتن والدین ترک‌زبان، متولد و ساکن استان‌های ترک‌زبان ایران تا سن ۷ سالگی، راست‌دستی، عدم ابتلا به بیماری‌های زبانی-روانی، حداقل ۵ سال سکونت در شهرهای فارسی‌زبان و شروع آموزش رسمی زبان فارسی در ۷ سالگی بود. بنا بر اظهارات شخصی، همهٔ شرکت‌کنندگان در زندگی روزمره با زبان ترکی ارتباط برقرار می‌کردند. پس از غربالگری اولیه، افراد ملزم به شرکت در جلسهٔ ارزیابی رفتاری که در گروه زبان‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس برگزار شد، بودند. بر اساس آزمون دست‌برتری ادینبورگ[2] همهٔ افراد راست‌دست بودند. جهت سنجش ظرفیت حافظهٔ فعال، تکلیف فراخنای خواندن[3] (خدادادی و همکاران، ۱۳۹۳) برای همهٔ افراد اجرا شد. کسب امتیاز ۵۰ (از ۱۰۰) الزام‌آور بود و همهٔ افراد موفق به کسب امتیاز لازم شدند. خودارزیابی بسندگی در زبان فارسی و ترکی با اختلاف اندک بین درک و تولید زبان (۶ در برابر ۵) عالی بود. مصاحبه‌هایی به زبان فارسی و ترکی توسط یک مصاحبه‌گر زبان‌شناس فارسی‌زبان و یک دانشجوی دکتری ترک‌زبان انجام شد. در بخشی از این مصاحبه، یک آزمون قضاوت دستوری‌بودگی شبیه‌سازی‌شده از شرکت‌کنندگان اخذ شد. با توجه به ماهیت آزمایش اصلی، این خرده آزمون (شامل ۳۰ آیتم) به‌صورت شنیداری به زبان ترکی و فارسی ارائه و بر این اساس توانمندی شنیداری و دستوری افراد در هر دو زبان «عالی» تشخیص داده شد. ضمناً، موقعیت اجتماعی-اقتصادی افراد بر اساس شاخص چهار-عاملی جایگاه اجتماعی-اقتصادی[4] (هالینگزهد[5]، ۱۹۷۵) بررسی و اختلافی بین شرکت‌کنندگان پژوهش حاضر و گروه کنترل (افراد تک‌زبانهٔ فارسی‌زبان با میزان بسندگی زبانی بالا) مشاهده نشد (برای جزئیات بیشتر به میکده و همکاران (۲۰۲۱ ب) و میکده و همکاران (۲۰۲۳ ب) مراجعه شود). ضمناً، میزان تسلط دوزبانه‌ها به زبان اول و دوم بر اساس معیار تسلط دوزبانه[6] (دان و فاکس‌تری[7]، ۲۰۰۹) ارزیابی و اختلاف معناداری مشاهده نشد. افراد با رضایت کتبی در این آزمایش شرکت و حق‌الزحمهٔ حضور دریافت کردند. پژوهش حاضر مورد تصویب کمیتهٔ اخلاق دانشگاه علوم پزشکی ایران (مطابق با اعلامیهٔ هلسینکی) و دارای کد IR.IUMS.REC.1398.465 است.

---

۱. در مطالعات fMRI، حداقل حجم نمونه برای هر گروه ۱۵ نفر پیشنهاد شده است (فریستن، ۲۰۱۲).

2. *Edinburgh handedness inventory* (EHI)
3. reading span test
4. four factor index of socio-economic status
5. Hollingshead
6. Bilingual Dominance Scale (BDS)
7. Dunn & Fox Tree

۲-۲. مواد آزمون

به‌منظور بررسی پردازش نحوی سخنگویان دوزبانه یک تکلیف قضاوت دستوری‌بودگی شنیداری[۱] طراحی شد (میکده و همکاران، ۲۰۲۱ الف). محرک‌ها شامل ۶۴ جملهٔ فارسی و ۶۴ جملهٔ ترکی با ساختار فاعل + مفعول + فعل بود که نیمی از محرک‌ها در هر زبان به لحاظ نحوی درست و سایر محرک‌ها دارای نقض مطابقهٔ فعل–فاعل بودند. همهٔ محرک‌ها به‌لحاظ معنایی درست بودند و محرک‌هایِ به‌لحاظ نحوی درست و نادرست، از یکدیگر مشتق نشدند؛ بنابراین، هر محرک چه درست و چه نادرست فقط یکبار ارائه شد. زمان گذشتهٔ ساده افعال (بدون هیچ فعل کمکی) استفاده شد. در محرک‌های درست، فاعل اول و سوم شخص مفرد با افعال اول و سوم شخص مفرد و فاعل اول و سوم شخص جمع با افعال اول و سوم شخص جمع همراه بودند. در مقابل، در شرایط نقض مشخصه‌های شخص و شمار، فاعل اول و سوم شخص مفرد با افعال اول و سوم شخص جمع و فاعل اول و سوم شخص جمع با افعال اول و سوم شخص مفرد همراه بودند[۲]. جملات توسط یک خانم با ریتم طبیعی قرائت و در استودیوی صدابرداری با فرمت WAV ذخیره شد (نرخ نمونه‌برداری ۱۶ بیت، ۴۴ کیلوهرتز). روایی محتوایی تکلیف قضاوت دستوری‌بودگی به تأیید متخصصین حوزهٔ نحو رسید و میزان اعتبار آن با استفاده از آزمون آلفای کرونباخ[۳] ۰/۹۳ به دست آمد.

۲-۳. نحوهٔ اجرای آزمون

پس از دریافت آموزش‌های لازم در زمینهٔ نحوهٔ اجرای تکلیف، شرکت‌کنندگان بر اساس دستوری/نادستوری‌بودگی جملات پاسخ خود را ثبت کردند. محرک‌های شنیداری طراحی‌شده توسط نرم‌افزار سایکوپای[۴]، از طریق هدفون ارائه شد. الگوی تحریک وابسته‌به‌رویداد[۵]، شامل ۴ بلوک[۶] جملات شنیداری، ۴ بازهٔ استراحت[۷] بود و پارادایم زبان‌گردانی جایگزین[۸] نیز به‌کارگرفته شد. هر بلوک متشکل از ۳۲ بخش[۹] است که برای ثبت پاسخ همودینامیکی[۱۰]

1. Auditory grammaticality judgment task
۲. فهرست کامل محرک‌ها در مقالهٔ میکده و همکاران (۲۰۲۳ الف) ارائه شده است.
3. cronbach's alpha
4. PsychoPy
5. Event-related design
6. block
7. Resting period
8. alternating language switching paradigm
9. run
10. Hemodynamic baseline

جدول ۱- مثال‌هایی از مواد آزمون در زبان ترکی و فارسی با حرف‌نویسی و ترجمهٔ انگلیسی

(اقتباس از میکده و همکاران، ۲۰۲۱ الف)

زبان اول	زبان دوم
نقض مطابقهٔ دستوری	
*بیز$_{1.pl}$ کیتابلاریمیزی گتیردیم$_{1.sg}$.	*ما$_{1.pl}$ بدهکاری‌مان را پرداختم$_{1.sg}$.
*Biz kitâb-lar-i-mizi gatird<u>im</u>. We book-PL-HI-OBJ-CLT.Def bring-PAST-1SG (We brought our books)	*Ma$_{1.pl}$ bedehkari-ye-mân râ pardâxt<u>am</u>$_{1.sg}$. We debt-HI-OBJ-CLT.Def pay.PAST-1SG (We paid our debts.)
مطابقهٔ دستوری	
من$_{1.sg}$ پالتارمی یودوم$_{1.sg}$.	من$_{1.sg}$ نظرش را پذیرفتم$_{1.sg}$.
Man$_{1.sg}$ pâltâr-e-mi yu<u>dum</u>$_{1.sg}$. I cloth-HI-OBJ-CLT.Def wash.PAST-1SG (I washed my cloth.)	Man$_{1.sg}$ nazar-aš râ paziro<u>ftam</u>$_{1.sg}$. I offer-OBJ-CLT.Def accept.PAST-1SG (I accepted her/his offer.)

*** جملات غیردستوری. زیر هجای هدف خط کشیده شده است.**

نیز بازه‌های زمانی استراحت ۳۰ ثانیه‌ای در قبل و بعد از آن تعبیه شد که طی آن هیچ تحریکی ارائه نشد. مدت‌زمان هر بلوک ۳۱۸ ثانیه بود. هر بخش شامل یک بوق هشدار ۱ ثانیه‌ای، یک جملهٔ ۳ ثانیه‌ای و مرحلهٔ پاسخ ۴، ۵ یا ۶ ثانیه‌ای بود. به علت ماهیت شنیداری تکلیف شناختی، یک علامت به‌علاوه (+) در وسط صفحهٔ نمایش در کل زمان اجرای تکلیف[1] نمایش داده شد. در هر بلوک، جملات دو زبان به‌طور پیوسته تغییر می‌کردند (به‌طورمثال، زبان اول، زبان دوم، زبان اول، زبان دوم و ...). محرک‌های دستوری/نادستوری هر زبان، در هر بلوک به‌طور تصادفی توزیع و به‌طور یکسان برای همهٔ شرکت‌کننده‌ها اجرا شد. مزیت پارادایم زبان‌گردانی جایگزین بر دیگر پارادایم‌ها ازجمله پارادایم زبان‌گردانی توالی-محور[2] این است که شرایط برنامه‌ریزی زبانی را برای زبان بعدی فراهم می‌کند به‌گونه‌ای

1. Task
2. Sequence-based language switching paradigm

که وضعیت پیش‌برنامه‌ریزی را در طول پردازش زبان طبیعی تداعی می‌کند (دکلرک و فیلیپ[1]، ۲۰۱۵). لذا، بر مبنای توالی قابل‌پیش‌بینی، شرکت‌کننده می‌تواند برای زبان بعدی خود را آماده کند. در دنیای واقعی، سخنگویان دوزبانه قادرند تا هر یک از زبان‌هایشان را به‌طور مناسب استفاده کنند و به‌سرعت زبان‌گردانی بین دو زبان را انجام دهند. برای هر شرکت‌کننده، مدت‌زمان اجرای آزمون fMRI به انضمام مرحلهٔ آماده‌سازی تقریباً ۳۵ دقیقه به طول انجامید.

جدول ۲- پروتکل‌های تصویربرداری ساختاری و عملکردی

نام پروتکل	T1-weighted MP-RAGE (ساختاری)	T2-weighted EPI-BOLD (عملکردی)
اندازهٔ وکسل[2] (mm^3)	۱ × ۱ × ۱	۳ × ۳ × ۳
اندازهٔ ماتریس[3] (mm^2)	۲۵۶	۶۴
زمان اکو[4] (TE) (ms)	۳/۵۳	۳۰
زمان تکرار[5] (TR) (ms)	۱۸۰۰	۳۰۰۰
ضخامت اسلایس[6] (mm)	۱	۳
میدان دید[7] (FOV) (mm^2)	۲۵۶	۱۹۲
زاویهٔ چرخش[8] α (deg)	۷°	۹۰°

۲-۴. پروتکل تصویربرداری

تصاویر fMRI توسط اسکنر MRI سه تسلای زیمنس مدل پریزما[9] با کویل سر ۲۰ کاناله[10] در آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز ثبت شد. تصویربرداری ساختاریِ رزولوشن‌بالا و عملکردیِ حالت استراحت از مغز هر فرد در یک جلسه انجام شد. پروتکل‌ها و پارامترهای مورداستفاده در جدول ۲ ارائه شد. تصاویر ساختاری با استفاده از توالی

1. Declerck & Philipp
2. voxel size
3. matrix size
4. echo time
5. repetition time
6. slice thickness
7. field of view
8. flip angle
9. 3.0 Tesla Siemens Prisma MRI Scanner
10. 20-channel head coil

سه‌بعدی اکو گرادیانت سریع مغناطشِ آماده‌شده[۱] و تصاویر عملکردی به‌صورت تصویربرداری اکو صفحه‌ای[۲] گرفته شد. زمان تصویربرداریِ عملکردی ۱۲۹۰ ثانیه به طول انجامید. تعداد کل والیوم‌ها[۳] ۴۳۰ عدد و هر والیوم نیز حاوی ۴۵ اسلایس بود.

۲-۵. پیش‌پردازش تصاویر

پیش‌پردازش تصاویر با استفاده از ابزارهای موجود در نرم‌افزار FSL مدل ۶/۰۰ مجموعهٔ FMRIB[4] به شرح زیر انجام شد: (۱) حذف جمجمه و استخراج قشر مغز، (۲) انطباق[۵] دادهٔ ساختاری T1-MPRAGE بر روی اطلس MNI و سپس انطباق داده‌های عملکردی بر آن، (۳) تصحیح حرکت سر[۶]، (۴) تصحیح زمان‌بندی برش‌ها[۷] با استفاده از درون‌یابی فوریه[۸]، (۵) نرم کردن مکانی[۹] توسط فیلتر کرنل گوسی[۱۰] با FWHM برابر با ۶ میلی‌متر، (۶) نرمال کردن[۱۱] دامنهٔ همهٔ والیوم‌ها در هر نقطهٔ زمانی بر پایهٔ شدت میانگین، (۷) فیلتر کردن زمانی[۱۲] توسط فیلتر بالاگذر گوسی[۱۳] با سیـگمای[۱۴] ۵۰ ثانیه، (۸) حذف مؤلفه‌های نویز[۱۵] از تصاویر پیش‌پردازش‌شده با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های مستقل[۱۶]. نهایتاً، از مدل خطی عمومی[۱۷]، جهت آنالیز سطح اول (اجرای فردی) و دوم (اجرای گروهی) استفاده شد. با استفاده از مدل تأثیر آمیخته[۱۸]، آنالیزهای بین‌گروهی[۱۹] انجام و وکسل‌هایی با z-stat بالای ۳/۱ و سطح معناداری کمتر از $p <$ ۰/۰۵ به‌صورت وکسل فعال تشخیص داده شد. فقط جملاتی که به آن‌ها

---

1. three-dimension magnetization-prepared rapid gradient-echo (MP-RAGE) sequence
2. echo planner imaging (EPI)
3. volume
4. www.fmrib.ox.ac.uk/fsl
5. mapping
6. Head Motion Correction
7. Slice Timing Correction
8. fourier interpolation
9. Spatial Smoothing
10. gaussian kernel
11. Normalization
12. Temporal Filtering
13. gaussian high pass filter
14. sigma
15. noise
16. independent component analysis (ICA)
17. Generalized Linear Model (GLM)
18. Mixed effects
19. between-subjects

پاسخ درست داده شده بود، در چرخهٔ آنالیز قرار گرفتند.

۲-۶. روش تحلیل آماری

پیرو شناسایی فعالیت ناحیهٔ تالاموس در رویکرد کل ـ مغز۱ (میکده و همکاران، ۲۰۲۱ الف)، به‌منظور تعیین نقش ناحیهٔ تالاموس در پردازش همزمان زبان‌های اول و دوم در افراد دوزبانه، تحلیلی با رویکرد ناحیهٔ موردنظر۲ بر اساس مطالعات پیشین (میکده، زومر و بتولی، ۱۴۰۲؛ میکده، زومر و بتولی، ۱۴۰۳)اجرا شد تا الگوی فعالیت محرک‌ها در این ناحیهٔ مغزی آشکار گردد (پلدراک۳، ۲۰۰۷). بدین‌ترتیب، درصد تغییر سیگنال٤ به‌عنوان معیار «شدت»٥ برای هر شرکت‌کننده در ناحیهٔ تالاموس مطابق با اطلس هاروارد-آکسفورد٦ در FSL محاسبه شد. شدت سیگنال به‌عنوان متغیر وابسته و دستوری‌بودگی، زبان، نیمکره و جنسیت به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۶ انجام شد. تغییرات شدت سیگنال از طریق آزمون استنباطی تحلیل واریانس۷ با اندازه‌گیری‌های مکرر۸ ۲ × ۲ × ۲ × ۲ دستوری‌بودگی (دستوری، نادستوری) × زبان (زبان اول = ترکی، زبان دوم = فارسی) نیمکره (چپ، راست)× (جنسیت (زن، مرد)) بررسی شد.

۳. نتایج

۳-۱. نتایج رفتاری

نتایج رفتاری شرکت کنندگان شامل زمان واکنش به محرک‌ها و نرخ پاسخ صحیح در مطالعهٔ اصلی (میکده و همکاران، ۲۰۲۱الف) در دسترس است.

۳-۲. نتایج ناحیهٔ تالاموس

موقعیت ناحیهٔ تالاموس در شکل ۱ الف نمایش داده شد. در ناحیهٔ تالاموس، نتایج تحلیل واریانس (جدول ۳) نشان از معناداری عامل اصلی دستوری‌بودگی دارد. مشخصاً، شدت درصد تغییر سیگنال در جملات نادستوری (۱/۲۵۳)

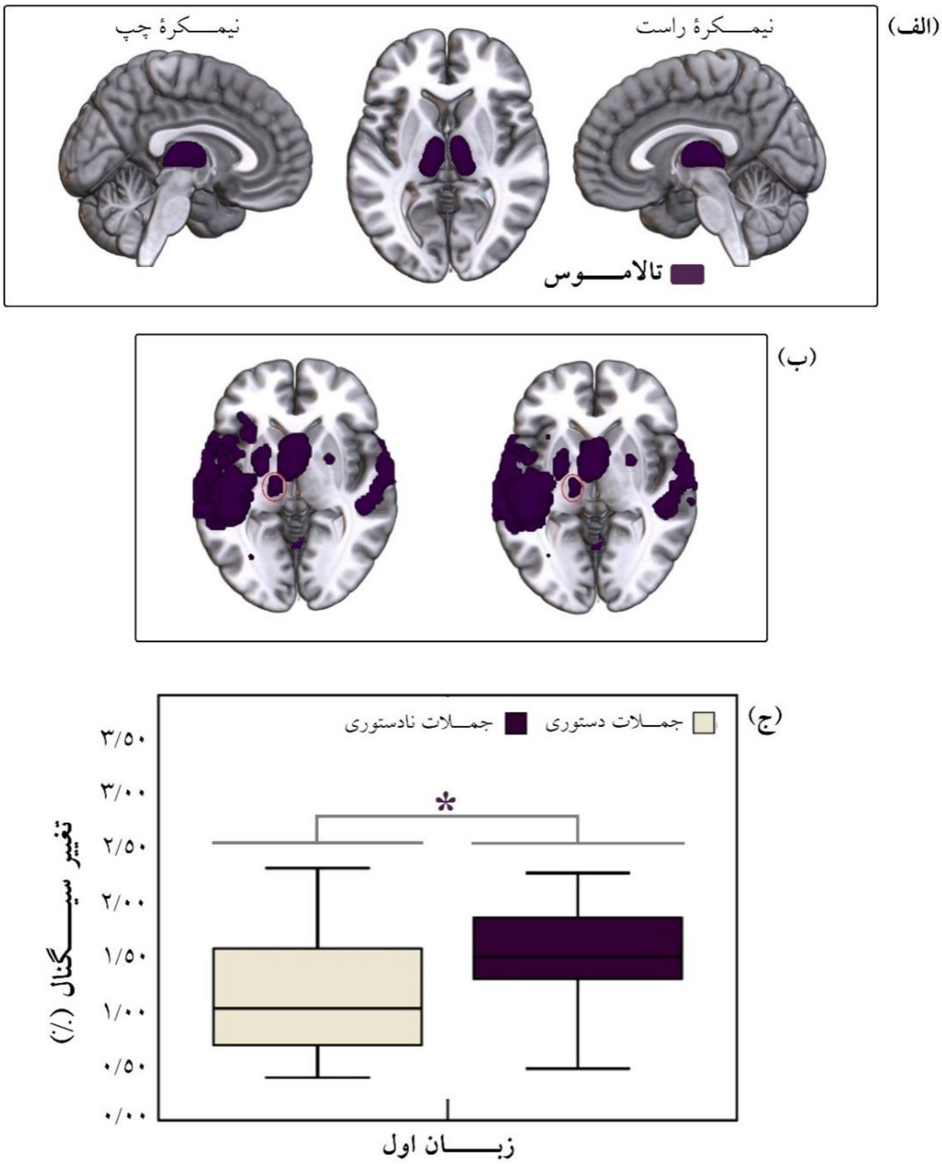
---

1. whole-brain
2. region-of-interest analysis (ROI)
3. Poldrack
4. Percent Signal Change (PSC)
5. Intensity
6. Harvard-Oxford Atlas
7. analysis of variance
8. repeated measures

به نسبت جملات دستوری (۱/۱۳۶) بیشتر بود. همچنین، عامل اصلی زبان با شدت درصد تغییر سیگنال بیشتر در زبان اول (۱/۲۵۶) به نسبت زبان دوم (۱/۱۳۲) به سطح معناداری رسید.

اثر تعاملی دستوری‌بودگی × زبان نیز معنادار بود. با در نظر گرفتن عامل دستوری‌بودگی، مشاهده شد که در زبان اول درصد تغییر سیگنال جملات نادستوری (۱/۳۶۳) در مقایسه با جملات دستوری (۱/۱۵۰) بیشتر بود ($t_{(۳۵)} = ۳/۳۳۸$، $p = ۰/۰۰۲$)، اما در زبان دوم اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات نادستوری (۱/۱۴۳) و دستوری (۱/۱۲۲) مشاهده نشد ($t_{(۳۵)} = ۰/۳۹۶$، $p = ۰/۶۹۴$). با در نظر گرفتن عامل زبان، مشاهده شد که در جملات نادستوری درصد تغییر سیگنال در زبان اول (۱/۳۶۳) در مقایسه با زبان دوم (۱/۱۴۳) بیشتر بود ($t_{(۳۵)} = ۳/۲۷۴$، $p = ۰/۰۰۲$)، اما در جملات دستوری هیچ تفاوتی بین درصد تغییر سیگنال زبان اول (۱/۱۵۰) و دوم (۱/۱۲۲) مشاهده نشد ($t_{(۳۵)} = ۰/۴۹۰$، $p = ۰/۶۲۷$).

اثر تعاملی زبان × نیمکره هم به سطح معناداری رسید. با در نظر گرفتن عامل زبان، مشاهده شد که در نیمکرهٔ چپ درصد تغییر سیگنال جملات زبان اول (۱/۳۴۱) در مقایسه با زبان دوم (۱/۱۱۲) بیشتر بود ($t_{(۳۵)} = ۳/۷۷۹$، $p = ۰/۰۰۱$)، اما در نیمکرهٔ راست اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات زبان اول (۱/۱۷۱) و دوم (۱/۱۵۳) مشاهده نشد ($t_{(۳۵)} = ۰/۳۴۱$، $p = ۰/۷۳۵$). با در نظر گرفتن عامل نیمکره، مشاهده شد که در زبان اول درصد تغییر سیگنال در نیمکرهٔ چپ (۱/۳۴۱) در مقایسه با نیمکرهٔ راست (۱/۱۷۱) بیشتر بود ($t_{(۳۵)} = ۲/۱۱۵$، $p = ۰/۰۴۲$)، اما در زبان دوم اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال در نیمکرهٔ چپ (۱/۱۱۲) در مقایسه با نیمکرهٔ راست (۱/۱۵۳) دیده نشد ($t_{(۳۵)} = -۰/۶۰۳$، $p = ۰/۵۵۰$).



شکل ۱- (الف) موقعیت ناحیهٔ تالاموس؛ (به ترتیب از راست) نمای ساجیتال[1] راست، آکسیال[2] و ساجیتال چپ. (ب) فعالیت مغز-کل (بنفش) در جملات دستوری (تصویر سمت راست) و نادستوری (تصویر سمت چپ) زبان اول برای ناحیهٔ تالاموس چپ نسبت به خط مبدأ. دایرهٔ قرمزرنگ مکان فعالیت هر محرک را نشان می‌دهد. (ج) نمودارهای جعبه‌ای درصد تغییر سیگنال برای اثر دستوری‌بودگی در تالاموس چپ برای زبان اول؛ علامت ستاره نشانهٔ معناداری است.

1. Sagittal
2. Axial

جدول ۳- نتایج آزمون تحلیل واریانس ۴-راهه در ناحیهٔ تالاموس

منبع تغییرات	آمارهٔ F	درجه آزادی	معناداری	مجذور اتا
دستوری‌بودگی	۶/۱۲۷	۱	۰/۰۱۸	۰/۱۵۳
دستوری‌بودگی × جنسیت	۰/۵۵۹	۱	۰/۴۶۰	۰/۰۱۶
زبان	٦/٤٥٥	۱	۰/۰۱٦	۰/۱٦۰
زبان × جنسیت	۰/۰۵۲	۱	۰/۸۲۰	۰/۰۰۲
نیمکره	۰/٦۳٦	۱	۰/٤۳۱	۰/۰۱۸
نیمکره × جنسیت	۰/٥٦۹	۱	۰/٤٥٦	۰/۰۱٦
دستوری‌بودگی × زبان	٤/۹۹۷	۱	۰/۰۳۲	۰/۱۲۸
دستوری‌بودگی × زبان × جنسیت	۲/۳۷٦	۱	۰/۱۳۲	۰/۰٦٥
دستوری‌بودگی × نیمکره	۲/۱۹٤	۱	۰/۱٤۸	۰/۰٦۱
دستوری‌بودگی × نیمکره × جنسیت	۱/۰۷۳	۱	۰/۳۰۸	۰/۰۳۱
زبان × نیمکره	۱۳/۲۰۸	۱	۰/۰۰۱	۰/۲۸۰
زبان × نیمکره × جنسیت	۱/٤٥۱	۱	۰/۲۳۷	۰/۰٤۱
دستوری‌بودگی × زبان × نیمکره	۱۲/٤۷۷	۱	۰/۰۰۱	۰/۲٦۸
دستوری‌بودگی × زبان × نیمکره × جنسیت	۰/۲۲٦	۱	۰/٦۳۷	۰/۰۰۷

افزون بر این، تعامل سه عامل دستوری‌بودگی × زبان × نیمکره معنادار بود. با درنظرگرفتن عامل دستوری‌بودگی، در نیمکرهٔ چپ درصد تغییر سیگنال جملات نادستوری زبان اول (۱/۵۱۰) در مقایسه با جملات دستوری زبان اول (۱/۱۷۲) بیشتر بود ($t_{(35)}$ = ۳/۷۰۵ ،p = ۰/۰۰۱)، اما هیچ اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات نادستوری زبان دوم (۱/۱۰۳) در مقایسه با جملات دستوری زبان دوم (۱/۱۲۱) بیشتر بود (p = ۰/۷۶۹، ۰/۲۹۷- = $t_{(35)}$). در نیمکرهٔ راست نه‌تنها درصد تغییر سیگنال جملات نادستوری زبان اول (۱/۲۱۶) در مقایسه با جملات دستوری زبان اول (۱/۱۲۷) متفاوت نبود (p = ۰/۱۲۹، $t_{(35)}$ = ۱/۵۵۶)، بلکه، تفاوت معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات نادستوری زبان دوم (۱/۱۸۳) در مقایسه با جملات دستوری زبان دوم (۱/۱۲۳) مشاهده نشد (p = ۰/۲۸۸، $t_{(35)}$ = ۱/۰۸۰). با درنظرگرفتن عامل زبان، مشاهده شد که نه‌تنها در جملات دستوری نیمکرهٔ چپ اختلافی در درصد تغییر سیگنال زبان اول (۱/۱۷۲) در مقایسه با زبان دوم (۱/۱۲۱) مشاهده نشد (p = ۰/۳۶۸،

$t_{(35)}$ = ۰/۹۱۲)، بلکه، در جملات دستوری نیمکرهٔ راست هم هیچ تفاوتی در درصد تغییر سیگنال زبان اول (۱/۱۲۷) در مقایسه با زبان دوم (۱/۱۲۳) دیده نشد (p= ۰/۰۶۱، $t_{(35)}$ = ۰/۹۵۲). از سوی دیگر، در جملات نادستوری نیمکرهٔ چپ درصد تغییر سیگنال در زبان اول (۱/۵۱۰) در مقایسه با زبان دوم (۱/۱۰۳) بیشتر بود (p< ۰/۰۰۱، ۴/۳۳۰ = $t_{(35)}$)؛ اما در جملات نادستوری نیمکرهٔ راست هیچ اختلافی در درصد تغییر سیگنال زبان اول (۱/۲۱۶) در مقایسه با زبان دوم (۱/۱۸۳) دیده نشد (p= ۰/۶۵۳، $t_{(35)}$ = ۰/۴۵۳). با در نظر گرفتن عامل نیمکره مشاهده شد که نه‌تنها در جملات دستوری زبان اول هیچ اختلافی بین درصد تغییر سیگنال در نیمکرهٔ چپ (۱/۱۷۲) در مقایسه با نیمکرهٔ راست (۱/۱۲۷) دیده نشد (p= ۰/۵۵۶، $t_{(35)}$ = ۰/۵۹۵)، بلکه در زبان دوم هم اختلافی در درصد تغییر سیگنال نیمکرهٔ چپ (۱/۱۲۱) در مقایسه با نیمکرهٔ راست (۱/۱۲۳) یافت نشد (p= ۰/۹۷۸، $t_{(35)}$ = -۰/۰۲۸). از سوی دیگر، در جملات نادستوری زبان اول درصد تغییر سیگنال در نیمکرهٔ چپ (۱/۵۱۰) در مقایسه با نیمکرهٔ راست (۱/۲۱۶) بیشتر بود (p= ۰/۰۰۷، $t_{(35)}$ = ۲/۸۶۵)؛ اما در جملات نادستوری زبان دوم اختلافی در درصد تغییر سیگنال نیمکرهٔ چپ (۱/۱۶۳) در مقایسه با نیمکرهٔ راست (۱/۱۸۳) دیده نشد (p= ۰/۲۲۵، $t_{(35)}$ = -۱/۲۳۴). تنها اثر معنادار دستوری‌بودگی در قالب نمودار جعبه‌ای در شکل ۱ ج به تصویر کشیده شد. همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، تعامل جنسیت با سایر عوامل معنادار نبود[1].

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، عملکرد ناحیهٔ تالاموس دوجانبه در پردازش همزمان زبان اول و دوم در دوزبانه‌های متوازن ترکی (زبان اول)-فارسی (زبان دوم با سن یادگیری ۷ سالگی در بدو ورود به مدرسه) بررسی شد. محرک‌های دستوری/نادستوری به‌صورت تصادفی و محرک‌های زبان اول/دوم به‌صورت متوالی توزیع شدند که مستلزم مشارکت/عدم مشارکت متناوب بین زبان‌هاست. به دنبال شناسایی حساسیت ناحیهٔ تالاموس چپ به محرک‌های دستوری و نادستوری زبان اول در دوزبانه‌های ترکی-فارسی در سطح کل-مغز (میکده و همکاران، ۲۰۲۱ الف)، یک آنالیز مبتنی بر ROI در پژوهش حاضر اجرا و اثر دستوری‌بودگی در تالاموس چپ برای زبان اول تأیید شد.

نتایج حاصل از آنالیز مبتنی بر ROI حاکی از این است که در پژوهش حاضر دوزبانه‌ها در حین زبان‌گردانی زبان

---

۱. مسئلهٔ جنسیت جزء موضوعات کلیدی مقالهٔ حاضر نیست؛ اما با توجه به ناترازی تعداد شرکت‌کنندگان مرد و زن، نویسندگان مقاله علاقمند بودند با داده‌های آماری به خوانندهٔ کنجکاو القا کنند که نتایج فعلی متأثر از پارامتر جنسیت نبوده است.

ترکی را به‌عنوان زبان پایه و زبان فارسی را به‌عنوان زبان مهمان[1] انتخاب کرده‌اند که در راستای فرضیهٔ آستانهٔ فعالیت (پردیس، ۱۹۹۳ و ۲۰۰۱) است. بر این اساس، هر دو زبان اول و دوم فعال هستند، اما زبان پایه، فعالیت قوی‌تری دارد (گرین، ۱۹۹۸) که منجر به اثرات تغییر نامتقارن[2] می‌شود (ژیو و همکاران، ۲۰۲۰)؛ زیرا وقتی زبان‌گردانی به‌سمت محرک‌های زبان اول انجام می‌شود، مهار زبان اول که در طول پردازش جملات زبان دوم اتفاق افتاده بود باید غلبه شود که خود منجر به فعالیت بیشتر نواحی درگیرِ فرایندِ مهار می‌شود.

نتایج فوق در راستای یافته‌های رفتاری شرکت‌کنندگان است که زمان واکنش کمتری را برای زبان دوم نسبت به زبان اول نشان می‌دهد. در مقابل، تغییر در جهت زبان غالب (زبان اول)، مستلزم زمان بیشتری است تا به مهار قبلی که به این زبان اعمال شده است، غلبه گردد. به‌عبارتی‌دیگر، به این دلیل که زبان دوم زبان ضعیف‌تری محسوب می‌شود کنترل شناختی مضاعفی لازم است تا زبان اول را پس از تولید زبان دوم بازفعال کند (ژیو و همکاران، ۲۰۲۰)؛ بنابراین، فعالیت تالاموس برای زبان اول بر نقش حیاتی این ناحیهٔ مغزی در کنترل رفتاری و شناختی صحه می‌گذارد که در راستای مطالعات پیشین است (هوسودا[3] و همکاران، ۲۰۱۳؛ برکن، گرادو و کلاین[4]، ۲۰۱۷؛ پلیاستیکاس[5] و همکاران، ۲۰۱۷؛ دلوکا[6] و همکاران، ۲۰۱۹؛ گلو[7] و همکاران، ۲۰۲۱). با توجه به اینکه در مطالعهٔ پیشین نویسندگان حاضر(میکده، زومر و بتولی، در دست انتشار)، حساسیت هستهٔ کودیت نیز به زبان اول مشاهده شد، به نظر می‌رسد این دو ناحیهٔ مغزی (تالاموس و هستهٔ کودیت) نقش ویژه‌ای در فرایندهای زبان‌گردانی، کنترل شناختی و انتخاب زبان ایفا می‌کنند. همان‌طور که در بخش مقدمه مطرح شد، اختلافات روش‌شناختی قابل‌توجهی که مطالعهٔ حاضر را از اثر وارتنبرگر و همکارانش (۲۰۰۳) - به‌عنوان تنها اثر موجود در زمینهٔ پردازش دستوری در افراد دوزبانه — متمایز می‌کند، امکان مقایسهٔ بین این دو اثر را بسیار کمرنگ می‌کند و گویای این است که پردازش زبان در یک مغز واحد دوزبانه مستلزم انجام مطالعات عمیق‌تری است.

لازم به ذکر است که فعالیت تالاموس در مطالعهٔ حاضر محدود به نیمکرهٔ چپ مغز بود؛ بنابراین با توجه به فعالیت غالب نیمکرهٔ چپ در پردازش نحوی دوزبانه‌های ترکی-فارسی (میکده و همکاران، ۲۰۲۱ الف)، می‌توان

1. Guest langiage
2. Asymmetrical switch effects
3. Hosoda
4. Berken, Gracco, Klein
5. Pliatsikas
6. DeLuca
7. Gallo

استنباط کرد که این تالاموس چپ است که نقش انتقال‌دهندهٔ اطلاعات از مسیر تالاموکورتیکال به نواحی قشری را انجام می‌دهد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش برگرفته از رسالهٔ دکتری نویسندهٔ اول این مقاله است که با حمایت مالی ستاد توسعهٔ علوم و فناوری‌های شناختی به شمارهٔ ۷۴۰۱ انجام شده است. ضمناً، این پروژه از حمایت مالي وزارت علوم، تحقیقات و فناوري ایران نیز جهت تکمیل اهداف پروژه در دانشگاه هومبولت برلین۱ (آلمان) تحت راهنمایی نویسندهٔ دوم این مقاله برخوردار بوده است؛ از همکاری آن سازمان متبوع قدردانی می‌گردد.

1. Humboldt-Universität zu Berlin

کتابنامه

پورمحمد، مهدی. (۱۳۹۳). روان‌شناسی زبان. تهران: سمت.

خدادادی، مجتبی؛ اسدزاده، حسن؛ کلانتر قریشی، منیر؛ امانی، حسین. (۱۳۹۳). نرم‌افزار حافظه کاری دانیمن و کارپنتر. تهران: موسسه تحقیقات علوم رفتاری- شناختی سینا.

میکده، سیمین. (۱۴۰۰). بررسی اثرات بسندگی زبان و سن یادگیری زبان دوم بر دستگاه عصبی برای پردازش صرفی-نحوی با استفاده از ERPs و fMRI، رسالۀ دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

میکده، سیمین و زومر، ورنر. (در دست انتشار/الف). عدم تفاوت‌های جنسیتی در پردازش مشخّصه‌های فای در افراد دوزبانۀ متوازن: مطالعه‌ای بر پایۀ تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی (fMRI). پژوهش‌های زبان‌شناسی تطبیقی.

میکده، سیمین، زومر، ورنر؛ بتولی، سید امیر حسین. (۱۴۰۲). مخچه و مطابقۀ دستوری در دوزبانه‌ها: شواهدی از قضاوت دستوری‌بودگی با استفاده از fMRI. علم زبان.

میکده، سیمین؛ زومر، ورنر؛ بتولی، سیدامیرحسین. (۱۴۰۳). پوتامن و درک جمالت زبان اول و دوم: شواهدی از تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی. نشریۀ پژوهش‌های زبانشناسی. ۱۶(۱). ۱۱۰-۹۵

میکده، سیمین؛ زومر، ورنر؛ بتولی، سیدامیرحسین. (در دست انتشار). فعالیت نورونی هستۀ کودیت چپ در حین زبان‌گردانی: شواهد fMRI از دوزبانه‌های ترکی-فارسی. پژوهش‌های نوین روانشناسی.

Antón, E., Carreiras, M., & Duñabeitia, J. A. (2019). The impact of bilingualism on executive functions and working memory in young adults. *PloS one*, *14*(2), 1-30. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206770

Berken, J. A., Gracco, V. L., & Klein, D. (2017). Early bilingualism, language attainment, and brain development. *Neuropsychologia*, *98*, 220–227. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.08.031

Bogousslavsky, J., Regli, F., & Uske, A. (1988). Thalamic infarcts: clinical syndromes, etiology, and prognosis. *Neurology*, *38*(6), 837–848. https://doi.org/10.1212/wnl.38.6.837

Burgaleta, M., Sanjuán, A., Ventura-Campos, N., Sebastian-Galles, N., & Ávila, C. (2016). Bilingualism at the core of the brain. Structural differences between bilinguals and monolinguals revealed by subcortical shape analysis. *NeuroImage*, *125*, 437–445. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.09.073

Declerck, M., & Philipp, A. M. (2015). A review of control processes and their locus in language switching. *Psychonomic bulletin & review*, *22*(6), 1630–1645. https://doi.org/10.3758/s13423-015-0836-1

DeLuca, V., Rothman, J., Bialystok, E., & Pliatsikas, C. (2019). Redefining bilingualism as a spectrum of experiences that differentially affects brain structure and function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *116*(15), 7565–7574. https://doi.org/10.1073/pnas.1811513116

Dunn, A. L., & Fox Tree, J. E. (2009). A quick, gradient Bilingual Dominance Scale. *Bilingualism: Language and Cognition*, *12*(3), 273-289. https://doi.org/10.1017/S1366728909990113

Fedeli, D., Del Maschio, N., Sulpizio, S., Rothman, J., & Abutalebi, J. (2021). The bilingual structural connectome: Dual-language experiential factors modulate distinct cerebral networks. *Brain and language*, *220*, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.bandl.2021.104978

Fimm, B., Zahn, R., Mull, M., Kemeny, S., Buchwald, F., Block, F., & Schwarz, M. (2001). Asymmetries of visual attention after circumscribed subcortical vascular lesions. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, *71*(5), 652–657. https://doi.org/10.1136/jnnp.71.5.652

Friston K. (2012). Ten ironic rules for non-statistical reviewers. *NeuroImage*, 61(4), 1300-1310. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.04.018

Gallo, F., Novitskiy, N., Myachykov, A. & Shtyrov, Y. (2021). Individual differences in bilingual experience modulate executive control network and performance: Behavioral and structural neuroimaging evidence. *Bilingualism: Language and Cognition*, 24(2), 293-304. DOI: https://doi.org/10.1017/S1366728920000486

Hartsuiker, R. J., Pickering, M. J., & Veltkamp, E. (2004). Is syntax separate or shared between languages? Cross-linguistic syntactic priming in Spanish-English bilinguals. Psychological *science*, *15*(6), 409-414. https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00693.x

Hollingshead, A. (1975). *Four Factor Index of Social Status*. Unpublished Manuscript. New Haven, CT: Yale University Department of Sociology.

Hosoda, C., Tanaka, K., Nariai, T., Honda, M., & Hanakawa, T. (2013). Dynamic neural network reorganization associated with second language vocabulary acquisition: a multimodal imaging study. *The Journal of neuroscience*, *33*(34), 13663-13672. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0410-13.2013

Korenar, M., Treffers-Daller, J., & Pliatsikas, C. (2023). Dynamic effects of bilingualism on brain structure map onto general principles of experience-based neuroplasticity. *Scientific reports*, *13*(1), 3428. https://doi.org/10.1038/s41598-023-30326-3

Lerman, A., & Obler, L. K. (2017). Aging in bilinguals: Normal and abnormal. In A. Ardila, A. B. Cieślicka, R. R. Heredia & M. Rosselli (Eds.), *Handbook of Psychology of Bilingualism: The Cognitive and Emotional World of Bilinguals.* (Vol. 5) (pp. 189-210). Switzerland. Springer International Publishing, https://doi.org/10.1007/978-3-319-64099-0_8

Liebermann, D., Ploner, C. J., Kraft, A., Kopp, U. A., & Ostendorf, F. (2013). A dysexecutive syndrome of the medial thalamus. *Corte*, *49*(1), 40-49. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.11.005

Mechelli, A., Crinion, J. T., Noppeney, U., O'Doherty, J., Ashburner, J., Frackowiak, R. S., & Price,

C. J. (2004). Neurolinguistics: structural plasticity in the bilingual brain. *Nature*, *431*, 757. https://doi.org/10.1038/431757a

Meykadeh, S. (2021). An investigation of the effects of language proficiency and age of acquisition on neural organization for morphosyntactic processing using ERPs and fMRI [Doctoral dissertation, Tarbiat Modares University [In Persian].

Meykadeh, A., Golfam, A., Batouli, SAH. & Sommer, W. (2021a). Overlapping but language-specific mechanisms in morphosyntactic processing in highly competent L2 acquired at school entry: fMRI evidence from an alternating language switching task. *Frontiers in Human Neuroscience*, 26(15), 1-13. https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.728549

Meykadeh, S., Golfam, A., Batouli, S. A. H., & Sommer, W. (2023a). The neural basis of Number and Person phi-features processing: An fMRI study in highly proficient bilinguals. *Bilingualism: Language and Cognition*, 1–16. https://doi.org/10.1017/S1366728923000615

Meykadeh, A., Golfam, A., Nasrabadi, AM., Ameri, H. & Sommer, W. (2021b). First Event-Related Potentials evidence of auditory morphosyntactic processing in a subject-object-verb nominative-accusative language (Farsi). *Frontiers in psychology*, 16(*12)*, 1-9.
https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.698165

Meykadeh, S., Khadem, A., Sulpizio, S. & Sommer, W. (2023b). Functional connectivity during morphosyntactic processing: An fMRI study in balanced Turkish-Persian bilinguals. *Journal of Neurolinguistics.* 68 (101162), 1-12. https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2023.101162

Paradis, M. (1993). Linguistic, psycholinguistic and neurolinguistics aspects of ‘‘interference’’ in bilingual speakers: the activation threshold hypothesis. *Int. J. Psycholinguist.* 9, 133–145.

Paradis, M. (2001). An integrated neurolinguistic theory of bilingualism (1976–2000). Paper Presented at the LACUS Forum 27 Houston, TX.

Pliatsikas, C., DeLuca, V., Moschopoulou, E., & Saddy, J. D. (2017). Immersive bilingualism reshapes the core of the brain. *Brain structure & function*, *222*(4), 1785–1795. https://doi.org/10.1007/s00429-016-1307-9

Poldrack, R. A. (2007). Region of interest analysis for fMRI. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *2*(1), 67-70. https://doi.org/10.1093/scan/nsm006

Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A., Mooney, R. D., Platt, M. L., & White, L. E. (2018) *Neuroscience.* 6th Edition. New York, NY: Sinauer Associates.

Román, P., & Gómez-Gómez, I. (2022). Changes in Native Sentence Processing Related to Bilingualism: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in psychology*, *13*, 1-15. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.757023

Sanides, F. (1970). Functional architecture of motor and sensory cortices in primates in the light of a new concept of neocortex evolution, in C. Noback, & W. Montagna (Eds.), *Advances in Primatology: The Primate Brain.* (pp. 137-208). New York, Appleton-Century-Crofts.

Van der Werf, Y. D., Witter, M. P., Uylings, H. B., & Jolles, J. (2000). Neuropsychology of infarctions in the thalamus: a review. *Neuropsychologia*, *38*(5), 613–627.

https://doi.org/10.1016/s0028-3932(99)00104-9

Zhu, J. D., Seymour, R. A., Szakay, A., & Sowman, P. F. (2020). Neuro-dynamics of executive control in bilingual language switching: An MEG study. *Cognition*, *199*, 104247. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104247